

## 김치에서 분리된 젖산균의 $\beta$ -glucosidase 활성 탐색

장미희 · 김명동\*

강원대학교 바이오산업공학부

### Exploration of $\beta$ -Glucosidase Activity of Lactic Acid Bacteria Isolated from Kimchi

Mi-Hee Jang and Myoung-Dong Kim\*

School of Biotechnology and Bioengineering, Kangwon National University

#### Abstract

The  $\beta$ -glucosidase (E.C. 3.2.1.21) production capabilities of lactic acid bacteria isolated from a variety of kimchi (fermented vegetables) were examined. When grown in a medium containing cellobiose as carbon source, most lactic acid bacteria showed significantly higher intracellular levels of  $\beta$ -glucosidase than the extracellular levels. A maximum intracellular  $\beta$ -glucosidase activity of  $3.7 \pm 0.5$  (unit/mg protein) was obtained in the case of *Weissella cibaria* KFRI88010 isolated from kimchi. The optimum reaction conditions for *W. cibaria* KFRI88010  $\beta$ -glucosidase activity were pH 5.0 and 37°C, and addition of divalent cations to the reaction mixture resulted in a notable decrease in enzyme activity. The  $\beta$ -glucosidase activity was enhanced twofold when *W. cibaria* KFRI88010 was grown in a medium containing fructose as compared with to a medium containing glucose or cellobiose.

**Key words:**  $\beta$ -glucosidase, kimchi, lactic acid bacteria, *Weissella cibaria*

## 서 론

김치는 선조들의 위대한 유산으로 점차 세계인의 식품으로 발전하고 있으며 수천 년에 걸쳐 전승되어 온 우리 고유의 발효식품이다. 해외에서도 점차 건강식품으로 인식되고 있으며 한국인의 식생활에 중요한 식품으로서 비타민과 무기질의 훌륭한 공급원으로 이용되어 왔다(Jun et al., 2000). 발효된 김치에는 *Lactobacillus*, *Leuconostoc* 및 *Weissella* 속에 속하는 다양한 젖산균이 존재한다. 젖산균은 당을 발효하여 젖산을 생산하는 세균으로 유산(균) 음료, 치즈, 장류, 된장, 술 등 발효식품의 제조에 이용되어 보존성 및 고유한 맛을 제공해 왔으며, 최근 식품의 안전성을 확보할 수 있는 방안으로 젖산균 및 젖산균이 생산하는 박테리옌에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다(Bae & Ahn, 1997). 젖산균은 유해세균에 대한 생육길항성이 있으므로 젖산균을 이용한 발효식품 제조의 스타터로의 개발도 활발히 연구되고 있다(Jin et al., 2008). 젖산균의 식

품보존효과는 젖산 발효에 의한 pH 저하가 가장 큰 요인이지만, 그것 이외에 젖산균이 생산하는 다양한 증식 저해 물질이 식품 오염균의 생육을 억제한다는 것이 최근 보고되었다(Kwark et al., 1999).

젖산균이 생산하는 다양한 효소들 중  $\beta$ -glucosidase는 셀룰로스나  $\beta$ -1,4 당쇄결합을 지니고 있는 기질로부터 포도당을 유리시키는 효소이다. 지금까지 문헌에 보고된  $\beta$ -glucosidase의 생리적인 기능은 식물의 경우 식물호르몬이나 열매의 향기성분 생성을 활성화하는 데 관여하거나, 식물병원균에 대한 저항성 기작에 관여하는 것으로 알려져 있으며(Gunata et al., 1985; Estruch et al., 1991), 미생물 기원의  $\beta$ -glucosidase에 관한 연구로는 *Bifidobacterium* sp., *Sporotrichum cellulophilum*, *Aspergillus niger*, *A. nidulans* 등이 생산하는  $\beta$ -glucosidase가 이소플라본 배당체의 가수분해에 관여하는 것 등이 있다(Hong et al., 2009).  $\beta$ -Glucosidase는 폭 넓은 기질특이성으로 인하여 식품 및 화학산업 분야에서 이용되고 있으며, 특히 와인 생산공정에서 유용하게 사용되고 있는 효소이며(Kim et al., 2009), 셀룰로스를 분해하지 못하는 미생물에서도 이 효소의 존재가 보고되고 있다(Barras et al., 1984). 또한 이 효소는 식물, 곰팡이, 효모, 세균 및 동물의 조직 등에 분포하며(Lee et al., 1998), *A. niger*와 *Trichoderma reesei*를 혼합배양하여 각각의 균주를 개별 배양할 때보다  $\beta$ -glucosidase의 활성을 향

Corresponding author: Myoung-Dong Kim, School of Biotechnology and Bioengineering, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea

Tel: +82-33-250-6458; Fax: +82-33-241-0508

E-mail: mdkim@kangwon.ac.kr

Received July 7, 2010; revised August 3, 2010; accepted August 4, 2010

상시키는 연구결과가 보고된 바 있으며(Juhász et al., 2003),  $\beta$ -glucosidase를 이중 숙주세포에서 발현하여 효소 수율을 증대시키기 위한 연구도 진행된 바 있다(Kim et al., 1993; Kim et al., 1998). 또한 송이버섯의 균사로부터 분리되는  $\beta$ -glucosidase의 특성 및 활성에 관한 연구결과도 보고된 바 있다(Min & Han, 2000). 아몬드 분말에 함유된  $\beta$ -glucosidase의 작용을 이용하여 대두의 이소플라본 배당체로부터 생체이용률이 향상된 비배당체의 함량을 유의적으로 증가시킨 연구결과가 보고되는(Yang et al., 2007) 등, 최근 생물전환공정에서의 응용을 위한 연구가 매우 활발히 진행되고 있다.

본 연구는 높은  $\beta$ -glucosidase 활성을 갖는 균주를 선발하기 위하여 다양한 김치에서 분리된 젓산균의  $\beta$ -glucosidase 활성을 탐색하였다.

## 재료 및 방법

### 균주

한국식품연구원(Korea Food Research Institute, KFRI) 및 한국생명공학연구원 미생물자원센터(Korean Collection for Type Cultures, KCTC)에 기탁되어 있는 다양한 김치에서 분리된 *Lactobacillus* 속 87개 균주, *Lactococcus* 속 2개 균주, *Leuconostoc* 속 55개 균주, *Pediococcus* 속 4개 균주 및 *Weissella* 속 8개 균주 등 총 156개의 균주를 분양 받아 이들 균주의  $\beta$ -glucosidase 활성을 탐색하였다.

### 균주 보관 및 배양

분양 받은 균주는  $-80^{\circ}\text{C}$ 에 보관하였다. 보관된 균주를 MRS(BD Diagnostic Systems, Sparks, MD, USA) 배지에 접종하고, 진탕배양기(Hanbaek Scientific Co., Bucheon, Korea)를 이용하여  $30^{\circ}\text{C}$ 에서 10시간 배양한 뒤, 600 nm에서 흡광도( $\text{OD}_{600}$ )를 측정하고 원심분리하여 적정량의 세포를 회수하였다. 회수한 세포는 멸균 증류수로 2회 세척한 후 cellobiose(Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA)를 비롯한 탄소원이 2% (w/v)의 농도로 첨가된 MRS 배지에 초기 흡광도( $\text{OD}_{600}$ )가 0.1이 되도록 접종한 후, 진탕배양기를 이용하여 흡광도( $\text{OD}_{600}$ )가 1이 될 때까지  $30^{\circ}\text{C}$ 에서 배양하였고, 일정량의 배양액을 회수한 뒤 원심분리하여 세포와 상등액을 분리하였다.

### 효소활성 측정

#### 세포외 효소활성

$\beta$ -Glucosidase의 활성은 Hong et al.(2009)의 방법을 일부 수정하여 수행하였다. 세포가 제거된 상등액을 조효소액으로 이용하였고, *p*-nitrophenol 용액(Sigma-Aldrich)을 여러 농도로 희석한 뒤 450 nm에서의 흡광도를 측정하여 표준선을 작성하였다. 기질은 sodium acetate/acetic acid 완

충액(50 mM, pH 5)에 *p*-nitrophenyl- $\beta$ -D-glucopyranoside (*p*NPG, Sigma-Aldrich)의 농도가 5 mM이 되도록 용해시킨 후, 70  $\mu\text{L}$ 의 조효소액에 기질용액을 30  $\mu\text{L}$  첨가하여  $37^{\circ}\text{C}$ 에서 10분 동안 반응시켰다. 효소반응은 100  $\mu\text{L}$ 의 0.5 M  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ (Duksan, Ansan, Korea)를 주입하여 종결하였다. 생성된 *p*-nitrophenol 농도는 450 nm에서 흡광도를 측정하고 미리 구한 표준선을 이용하여 결정하였다. 1 unit의 효소활성은  $37^{\circ}\text{C}$ , pH 5 조건에서 1분 동안 1  $\mu\text{mole}$ 의 *p*-nitrophenol을 생성하는 효소의 양으로 정의하였다.

#### 세포내 효소활성

세포 배양액을 원심분리하여 얻은 세포에 sodium acetate/acetic acid 완충액(50 mM, pH 5) 700  $\mu\text{L}$ 와 0.2 mm stainless bead(Nextadvance, Averill Park, NY, USA)를 0.25 g을 주입하고 균질기(Nextadvance)를 이용하여 세포를 3분 동안 파쇄하였다. 세포 파쇄물의 일정량을 회수하고 원심분리(16,000  $\times$ g,  $4^{\circ}\text{C}$ , 15분)하여, 조효소액을 얻었다. 효소활성 측정 방법 및 정의는 세포외 효소활성 측정과 동일하였다.

### pH 및 온도에 대한 효소활성

다양한 pH의 완충액(pH 3, 4: sodium acetate/HCl, pH 5: sodium acetate/acetic acid, pH 6, 7, 8: sodium phosphate)과 온도(20, 30, 37, 40, 50 및  $60^{\circ}\text{C}$ ) 조건에서 효소활성을 측정하였다.

### 금속이온에 대한 효소활성

금속이온에 대한  $\beta$ -glucosidase의 효소활성 변화를 조사하기 위하여 효소반응 용액에  $\text{ZnCl}_2$ ,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{CuCl}_2$ ,  $\text{MnCl}_2$ ,  $\text{MgCl}_2$ ,  $\text{CoCl}_2$  및  $\text{FeCl}_2$ (Sigma-Aldrich)의 최종 농도가 2 mM이 되도록 첨가하여 효소활성을 측정하였다.

### 단백질 정량

Bradford Dye Reagent(Bio-Rad, Hercules, CA, USA)를 이용하여 제조사가 제시한 조건에서 단백질 농도를 측정하였으며, 적정농도로 희석된 bovine serum albumin(BSA, Bio-Rad, Hercules, CA, USA.)을 이용하여 표준선을 작성하였다.

### 통계처리

모든 측정은 5회 반복하였으며 결과의 통계적 분석은 SigmaPlot(ver. 11; SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하여 평균값과 표준오차를 구하였다.

## 결과 및 고찰

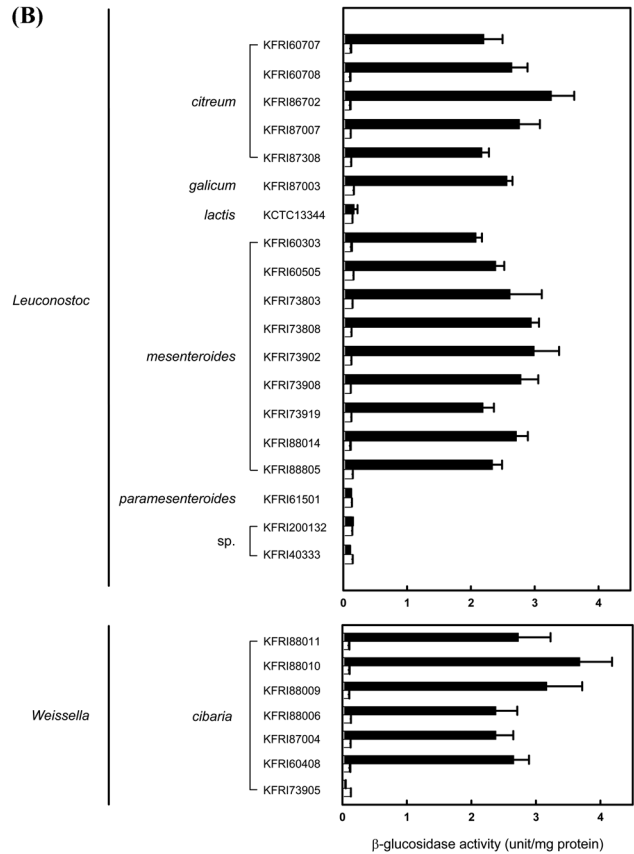
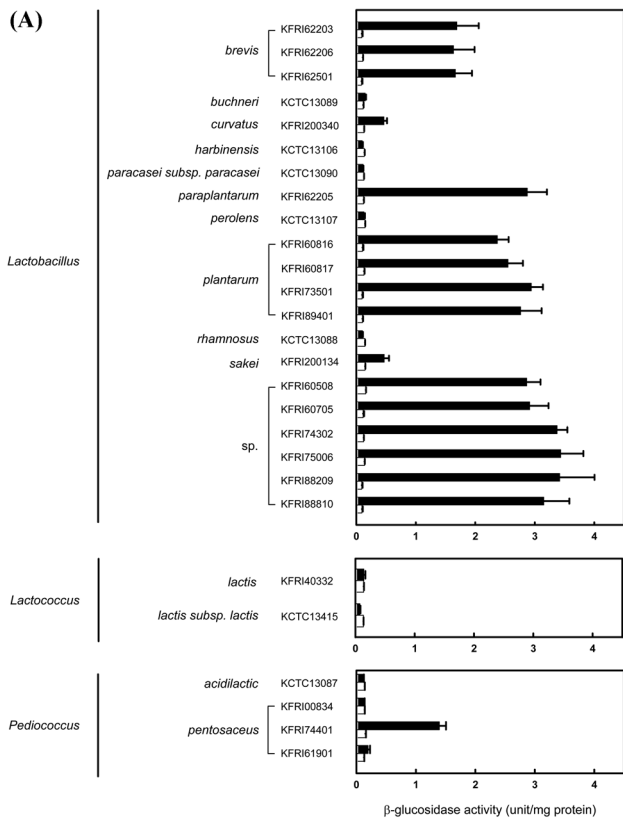
### 김치에서 분리된 젓산균의 cellobiose 대사

젓산균을 배양하는데 주로 사용하는 MRS 배지에 함유

된 glucose를 cellobiose로 대체하여, 김치에서 분리된 젖산균의 cellobiose 대사능을 조사하였다. 탄소원을 cellobiose로 대체하여 젖산균을 배양하였을 때, 실험에 사용한 156개의 균주 중 134개의 균주는 cellobiose를 탄소원으로 이용하였지만, *Leu. inhae*(KCTC3774) 및 *W. hanii*(KCTC3755) 등의 22개 균주는 cellobiose를 탄소원으로 이용하지 못하였다. 시판김치에서 분리된 젖산균 중, *Leuconostoc* 속은 15개 중 4개 균주가 cellobiose를 대사하지 못하였으며, *Lactobacillus* 속은 51개 중 5개의 균주가 cellobiose를 대사하지 못한다는 최근 연구결과도 보고된 바 있다(Ko et al., 2009).

**$\beta$ -Glucosidase 효소활성**

배추김치를 비롯한 40여 종류의 김치로부터 분리된, cellobiose를 탄소원으로 이용하는 134개의 젖산균에 대하여  $\beta$ -glucosidase 효소활성을 측정하였다. Fig. 1A 및 1B에 표시된 결과와 같이 전반적으로 세포내  $\beta$ -glucosidase 효소활성이 세포외 활성보다 높았다. 가장 높은 세포내  $\beta$ -glucosidase 효소활성을 나타낸 균주는 배추김치에서 분리된 *W. cibaria* KFRI88010로서  $3.7 \pm 0.5$  unit/mg protein이었다. *Lactobacillus*, *Leuconostoc* 및 *Weissella* 속에 속한 균주의 세포내 효소 활성이 높았으며, *Lactococcus* 및 *Pediococcus* 속의 균주들은 0.1-0.5 unit/mg protein 범위의 효소활성으로 상대적으로 낮은 효소활성을 나타내었다. Hong et al.(2009)의 연구에 의하면 김치에서 분리된 *W. cibaria* K-M1-4는 세포



**Fig. 1.**  $\beta$ -Glucosidase activity of lactic acid bacteria isolated from kimchi. Data for the strains in the genus of *Lactobacillus*, *Lactococcus* and *Pediococcus* are shown in panel A. Panel B shows  $\beta$ -glucosidase activity of lactic acid bacteria in the genus of *Leuconostoc* and *Weissella*. Averages and standard errors were determined and shown. Open (□) and closed (■) bars indicate extracellular and intracellular  $\beta$ -glucosidase activity, respectively.

외  $\beta$ -glucosidase 효소활성이 110 unit/mg protein이었으며, 그 밖에 토양에서 분리된 *Fomitopsis pinicola* 균주의  $\beta$ -glucosidase 효소활성이 보고된 바 있다(Joo et al., 2009). Cellobiose 대사능이 있는 주요 젖산균의  $\beta$ -glucosidase 효소활성을 Fig. 1에 표시하였다.

**반응 pH 및 온도**

Cellobiose를 탄소원으로 대사할 수 있는 134개의 젖산균 중  $\beta$ -glucosidase 효소활성이 가장 높은 *W. cibaria* KFRI88010 균주를 이용하여 효소반응의 pH와 온도에 대한  $\beta$ -glucosidase의 효소활성 변화를 조사하였다. 반응용액의 pH에 대한 *W. cibaria* 균주의  $\beta$ -glucosidase의 활성은 pH 5에서 가장 높았으며, 혐기성 조건보다는 산성조건에서 상대적으로 더 높은 효소활성을 나타내었다(Fig. 2A). 반응온도에 대한 *W. cibaria* 균주의  $\beta$ -glucosidase의 활성은 37°C에서 가장 높은 효소활성을 나타내었으며, 낮은 반응온도(20°C)

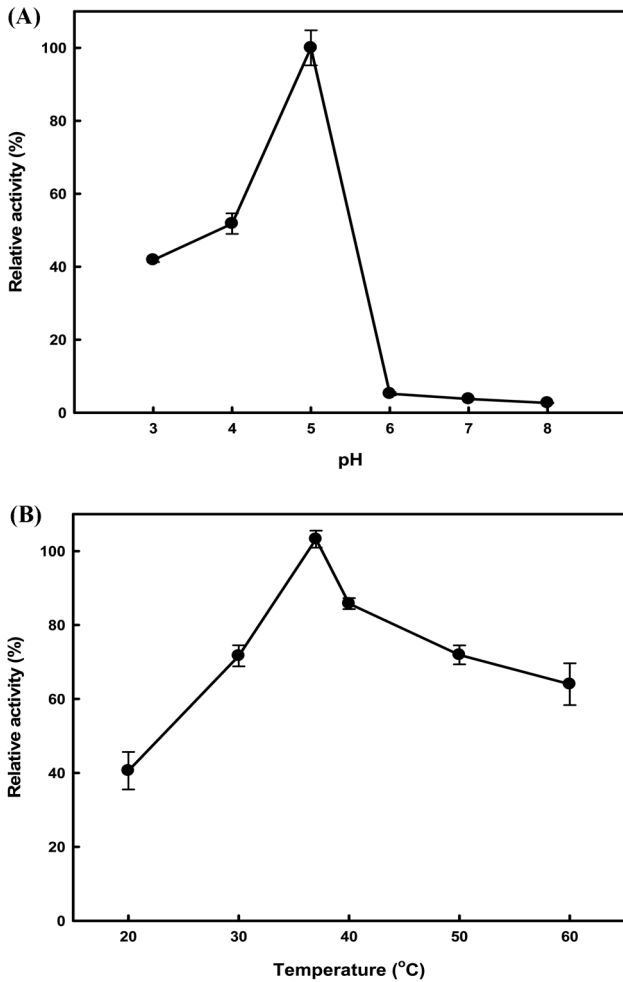


Fig. 2. Effect of pH (A) and temperature (B) on  $\beta$ -glucosidase activity of *W. cibaria* KFR188010. Intracellular fraction was assayed for the enzyme activity. Averages and standard errors from five independent experiments were determined and shown.

보다는 높은 반응온도(50, 60°C)에서 상대적으로 효소활성이 우수하였다(Fig. 2B).

김치에서 분리된 *W. cibaria* K-M1-4가 생산한  $\beta$ -glucosidase 효소활성은 pH 7, 50°C에서 가장 높게 나타났으며(Hong et al., 2009), Chun et al.(1991)의 보고에 의하면 *Penicillium verrucosum*이 생산하는  $\beta$ -glucosidase의 경우 pH 5, 70에서 최대 활성을 나타내었고, *Streptomyces coelicolor* A3(2)(Kim et al., 2009)로부터 유래된  $\beta$ -glucosidase의 온도변화에 대한 효소활성은 pH 5 일 때 20°C, pH 6 일 때 60°C에서 가장 높은 활성을 나타내었다. Park et al.(1993)이 연구한 *A. niger*로 추정되는 곰팡이는 pH 5에서 최적의  $\beta$ -glucosidase 활성을 보이는 것으로 보고된 바 있다. 본 연구에서 사용된 김치에서 분리된 *W. cibaria* KFR188010의 최적  $\beta$ -glucosidase 효소반응조건은 Kawamori et al.(1987)의 *Thermoascus aurantiacus*와 Kurosawa et al.(1989)의

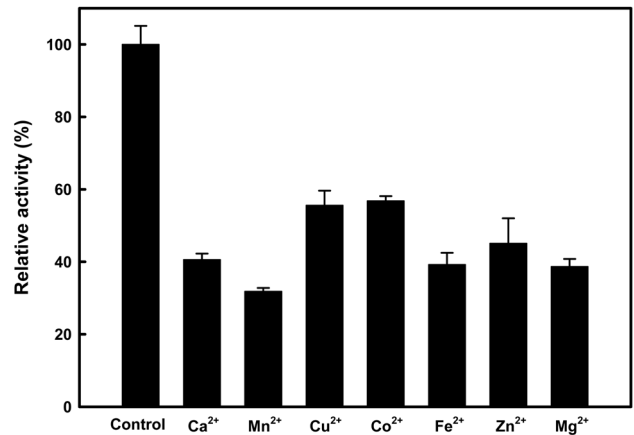


Fig. 3. Effect of divalent cations on  $\beta$ -glucosidase activity of *W. cibaria* KFR188010. Indicated cation was added to the reaction mixture at final concentration of 2 mM. Intracellular fraction was assayed for the enzyme activity. Averages and standard errors from five independent experiments were determined and shown.

*Corticium rolfsii*가 생산하는  $\beta$ -glucosidase의 경우와 비슷하였다. Joo et al.(2009)이 보고한 *F. pinicola* 유래의  $\beta$ -glucosidase는 pH 4.5에서 최대 효소활성을 나타내었으며, pH 4와 pH 5에서도 각각 91%, 80%의 활성을 나타내었고, 최적 효소활성 온도는 50였다. Park et al.(1993)이 보고한 *A. niger*로 추정되는 균주에서 유래된  $\beta$ -glucosidase의 온도에 대한 최대 효소활성은 36°C로 나타나 본 연구 결과와 유사하였으며, Park et al.(1982)의 *A. niger*, Kawamori et al.(1987)의 *T. aurantiacus* 및 Kurosawa et al.(1989)의 *C. rolfsii* 균주들의 최적 효소활성 온도보다는 낮았다.

#### 금속이온에 대한 $\beta$ -glucosidase 효소활성

금속이온에 대한 *W. cibaria* KFR188010 균주의 세포내  $\beta$ -glucosidase 효소활성을 조사하기 위하여 반응용액에 각각의 금속이온들의 최종농도가 2 mM이 되도록 첨가하여 효소활성을 측정하였다. 효소활성을 측정한 결과, 금속이온을 첨가하였을 때 효소활성이 감소하였으며, Cu<sup>2+</sup> 및 Co<sup>2+</sup>를 첨가하였을 때보다 Mn<sup>2+</sup>을 첨가하였을 때 더 큰 효소활성 저해 효과를 나타내었다(Fig. 3).

Sung et al.(1997)의 보고에 의하면 *A. niger* SFN-416이 생산하는  $\beta$ -glucosidase는 Cu<sup>2+</sup>에 의하여 가장 높은 저해를 받았으며, Joo et al.(2009)은 Fe<sup>2+</sup>, Hg<sup>2+</sup> 및 Cu<sup>2+</sup> 이온들이 *F. pinicola*에서 생성된  $\beta$ -glucosidase의 활성을 저해하며, Hong et al.(2009)은 Zn<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup>를 첨가하였을 때  $\beta$ -glucosidase 활성이 현저하게 감소한다고 보고하였다. 또한 Park et al.(1993)이 보고한 *A. niger*로 추정되는 균주에서 생산된  $\beta$ -glucosidase는 Zn<sup>2+</sup> 등에 의해 효소 활성이 저해되었으며, *Volvariella volvacea*에서 유래된  $\beta$ -glucosidase의 효

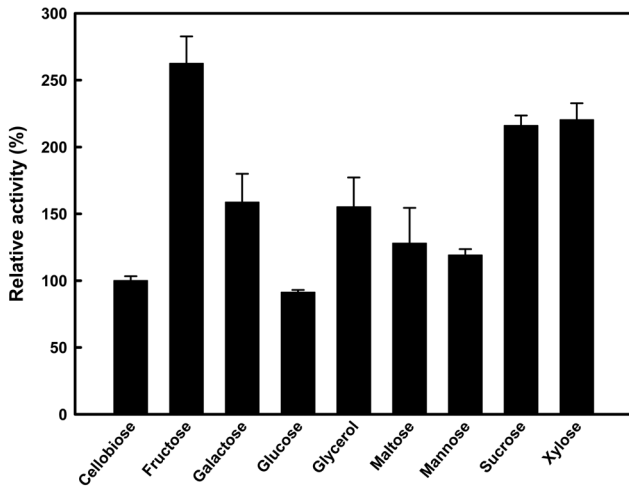


Fig. 4. Intracellular  $\beta$ -glucosidase activity of *W. cibaria* KFR188010 grown in a variety of carbon sources. Each carbon source was added to MRS medium at a concentration of 2% (w/v). Averages and standard errors from five independent experiments were determined and shown.

소활성은  $Zn^{2+}$  및  $Cu^{2+}$ 의 첨가에 의해 유의적으로 저해되는 연구결과도 보고된 바 있다(Li et al., 2005).

#### 탄소원에 대한 $\beta$ -glucosidase 효소활성

*W. cibaria* KFR188010를 배양할 때 사용하는 탄소원이 세포내  $\beta$ -glucosidase 효소활성에 미치는 영향을 조사하였다 (Fig. 4). Glucose를 제외한 모든 탄소원에서  $\beta$ -glucosidase의 활성이 현저히 증가하였는데, 특히 fructose의 경우 대조구 (cellobiose)에 비해 2.5배 높은 효소활성을 나타냈으며, 그 밖에 sucrose 및 xylose도  $\beta$ -glucosidase의 활성을 크게 증가시켰다. Glucose의 경우  $\beta$ -glucosidase의 활성을 저해하였지만 cellobiose를 탄소원으로 이용한 결과와 비교하여 현저한 차이는 없었다.

Moon et al.(1993)은 *A. niger*를 배양할 때 cellobiose에 비해 xylose, fructose, mannose 및 maltose가 탄소원으로 사용되었을 때  $\beta$ -glucosidase의 효소활성이 증가하였다고 보고하여 본 연구결과와 비슷한 경향이었으나, glucose가 cellobiose와 비교하여  $\beta$ -glucosidase의 효소 활성을 증가시키고, galactose와 sucrose가 억제한다고 보고한 결과는 본 연구결과와 차이를 보였다. *F. pinicola* 균주의 경우 cellobiose와 비교하여 maltose가 탄소원으로 사용된 경우  $\beta$ -glucosidase의 활성이 3배 이상 증가하였으나, glucose는 효소 활성을 50% 정도 저해하였고(Joo et al., 2009), *Cellulomonas* sp. CS1-1 유래의  $\beta$ -glucosidase 활성은 탄소원으로 glucose를 사용했을 때보다 cellobiose를 사용했을 때 효소활성이 75.6배 증가한 것으로 보고되었다(Lee et al., 1998).

## 요 약

$\beta$ -Glucosidase 효소활성이 높은 균주를 선발하기 위하여 다양한 김치에서 분리된 젖산균의  $\beta$ -glucosidase 활성을 탐색하였다. 김치에서 분리된 156개의 젖산균 중 134개의 균주만이 cellobiose를 탄소원으로 대사하였으며, 세포내  $\beta$ -glucosidase 활성이 세포의 활성보다 현저히 높았다. 배추김치에서 분리된 *W. cibaria* KFR188010 균주가  $3.7 \pm 0.5$  unit/mg protein으로서 가장 높은 세포내  $\beta$ -glucosidase 효소활성을 나타내었으며, 효소활성은 pH 5, 37°C 반응조건에서 가장 높게 나타났다.  $Mn^{2+}$ 를 비롯한 금속이온은 효소활성을 크게 저해하였다. *W. cibaria* KFR188010 균주를 배양할 때 사용한 탄소원 중, fructose는 cellobiose나 glucose와 비교하여 약 2.5배 이상의 높은 세포내  $\beta$ -glucosidase 효소활성을 나타내었다.

## 감사의 글

본 연구는 중소기업기술혁신개발사업(과제번호: S1035545) 및 지식경제부 지역연계기술개발사업(과제번호: 70004487)의 지원으로 수행되었습니다.

## 참고문헌

- Bae SS, Ahn C. 1997. Antibiosis and bacteriocin production of lactic acid bacteria isolated from Kimchi. *J. Food Sci. Nutr.* 2: 109-120.
- Barras F, Chambost JP, Chippaux M. 1984. Cellobiose metabolism in *Erwinia*: genetic study. *Mol. Gen. Genet.* 197: 486-490.
- Chun SB, Kim DH, Kim KH, Chung KC. 1991. Purification and characterization of  $\beta$ -glucosidase from *Penicillium verruculosum*. *J. Microbiol. Biotechnol.* 1: 188-196.
- Estruch JJ, Chriqui D, Grossmann KL, Schell J, Spena A. 1991. The plant oncogene *rolC* is responsible for the release of cytokinins from glucoside conjugates. *EMBO J.* 10: 2889-2895.
- Gunata YZ, Bayonove CL, Baumes RL, Cordonier RE. 1985. The aroma of grapes I. Extraction and determination of free and glycosidically bound fractions of some grape aroma components. *J. Chromatogr.* 331: 83-90.
- Hong SW, You LK, Jung BM, Kim WS, Chung KS. 2009. Characterization of  $\alpha$ -galactosidase and  $\beta$ -glucosidase by *Weissella cibaria*. *Korean J. Microbiol. Biotechnol.* 37: 204-212.
- Jin HS, Kim JB, Yun YJ, Lee KJ. 2008. Selection of *Kimchi* starters based on the microbial composition of *Kimchi* and their effects. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 37: 671-675.
- Joo AR, Jeya M, Lee KM, Sim WI, Kim JS, Kim IW, Kim YS, Oh DK, Gunasekaran P, Lee JK. 2009. Purification and characterization of a  $\beta$ -1,4-glucosidase from a newly isolated strain of *Fomitopsis pinicola*. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 83: 285-294.
- Juhász T, Kozma K, Szengyel Z, Réczey K. 2003. Production of

- $\beta$ -glucosidase in mixed culture of *Aspergillus niger* BKMF 1305 and *Trichoderma reesei* RUT C30. Food Technol. Biotechnol. 41:49-53.
- Jun HK, Bae KM, Kim YH, Baik HS. 2000. Production and characterization of cyclodextrin glucanotransferase from *Bacillus* sp. JK-43 isolated from *Kimchi*. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 29: 41-48.
- Kawamori M, Takayama K, Takasawa S. 1987. Production of cellulases by a thermophilic fungus *Thermoascus aurantiacus* A-131. Agric. Biol. Chem. 51: 647-654.
- Kim JH, Lee BR, Moon YP. 1998. Overproduction and secretion of  $\beta$ -glucosidase in *Bacillus subtilis*. J. Microbiol. Biotechnol. 8: 141-145.
- Kim JY, Kim BK, Kang CS, Yi YS, Ahn JH, Lim YH. 2009. Cloning of  $\beta$ -glucosidase gene from *Streptomyces coelicolor* A3(2) and characterization of the recombinant  $\beta$ -glucosidase expressed in *Escherichia coli*. Korean J. Microbiol. Biotechnol. 37: 99-104.
- Kim YW, Chun SS, Kim SJ, Chung YC, Sung NK. 1993. Cloning and expression of  $\beta$ -1,4-glucosidase gene from *Pseudomonas* sp. in *Escherichia coli* and *Bacillus subtilis*. Korean J. Appl. Microbiol. Biotechnol. 21: 113-118.
- Ko JL, Oh CK, Oh MC, Kim SH. 2009. Isolation and identification of lactic acid bacteria from commercial *Kimchi*. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 38: 732-741.
- Kurosawa K, Hosoguchi M, Hariantono J, Sasaki H, Takao S. 1989. Degradation of tough materials by cellulase from *Corticium rolfssii*. Agric. Biol. Chem. 53: 931-937.
- Kwark KS, Cu JG, Bae KM, Jun HK. 1999. Characterization of bacteriocin production by *Lactococcus* sp. J-105 isolated from *Kimchi*. Korean J. Life Sci. 9: 111-120.
- Lee HS, Min KH, Bae M. 1998. Biosynthetic regulation and enzymatic properties of  $\beta$ -glucosidase from *Cellulomonas* sp. CS 1-1. Korean J. Appl. Microbiol. Bioeng. 2: 119-125.
- Li X, Pei J, Wu G, Shao W. 2005. Expression, purification and characterization of a recombinant  $\beta$ -glucosidase from *Volvariella volvacea*. Biotech. Lett. 27: 1369-1373.
- Min EG, Han YH. 2000. Characteristics of extracellular  $\beta$ -glucosidase in *Tricholoma matsutake*. Korean J. Biotechnol. Bioeng. 15: 9-13.
- Moon IS, Park SK, Lee KY. 1993. Production of  $\beta$ -glucosidase from *Aspergillus niger*. Korean J. Biotechnol. Bioeng. 8: 409-414.
- Park KH, Oh TK, Shin JD. 1982. Purification and characterization of cellulolytic enzymes from *Aspergillus niger*. J. Korean Agric. Chem. Soc. 24: 186-192.
- Park SK, Moon IS, Choi OJ, Sung NK. 1993. Isolation of  $\beta$ -glucosidase-producing fungi and properties of its crude enzyme. Korean J. Appl. Microbiol. Biotechnol. 21: 440-445.
- Sung CK, Lee SW, Park SK, Park JR, Moon IS. 1997. Purification and characterization of  $\beta$ -glucosidase from *Aspergillus niger* SFN-416. Korean J. Appl. Microbiol. Biotechnol. 25: 44-50.
- Yang SO, Chang PS, Baek BK, Hong SD, Lee JH. 2007. Changes of isoflavone distribution in soybeans using almond powder. Korean J. Food Sci. Technol. 39: 231-236.